

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Bordeaux pour la  
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel**

**Campagne 2009**

Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.

<p style="text-align: center;"><b>B.T.S.</b></p> <p style="text-align: center;"><b>INDUSTRIES PAPETIERES</b></p>
--

**U.32 SCIENCES PHYSIQUES**

**SESSION 2009**

\*-----\*

DUREE : 3 HEURES  
COEFFICIENT : 3

**Matériel autorisé :**

La calculatrice conforme à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

**Documents à rendre avec la copie :**

Documents réponse 1 et 2 :	page 7/10
Documents réponse 3 :	page 8/10
Documents réponse 4 :	page 9/10

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.  
Le sujet comporte 10 pages numérotées de 1/10 à 10/10.

## 1 - ÉLECTRICITÉ (7 points)

Un moteur asynchrone triphasé entraîne la pompe placée sur le circuit de pâte à papier d'un atelier de fabrication. Le moteur est alimenté par un onduleur autonome de tension, fonctionnant à  $\frac{U}{f} = \text{constante}$  et dont la fréquence  $f$  est commandée par le régulateur de débit. C'est la variation de vitesse du moteur qui règle le débit de pâte à papier, entre 100 et 200 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>.

### A- Fonctionnement nominal du moteur

Les caractéristiques nominales du moteur sont indiquées sur sa plaque signalétique :

$U_N = 400 \text{ V}$  ;  $f_N = 50 \text{ Hz}$  ;  $n_N = 960 \text{ tr.min}^{-1}$  ;  $P_{uN} = 36 \text{ kW}$  ;  $I_N = 67 \text{ A}$  (étoile) ;  $\cos \varphi_N = 0,86$ .

1. Compléter la plaque à bornes du moteur avec son couplage étoile et ses liaisons au réseau triphasé 400 V ; 50 Hz (**document réponse 1**).
2. Quelle est la fréquence de synchronisme du moteur et quel est son nombre de paires de pôles ?
3. Sur le **document réponse 3**, indiquer les coordonnées du point  $M_0$  représentant le fonctionnement à vide du moteur alimenté sous 400 V, 50 Hz. Placer ce point sur le graphique.
4. Le moteur fonctionne dans les conditions nominales. Le débit de pâte est alors maximal.
  - 4.1 Que vaut l'intensité dans les enroulements du moteur ?
  - 4.2 Que vaut la tension aux bornes de chaque enroulement du moteur ?
  - 4.3 Calculer le moment du couple utile nominal  $T_{uN}$ .
  - 4.4 Sur le **document réponse 3**, indiquer les coordonnées du point  $M_N$  représentant le fonctionnement nominal du moteur. Placer ce point sur le graphique et tracer la partie utile (supposée linéaire) de la caractéristique mécanique du moteur alimenté par un réseau 400 V, 50 Hz.
  - 4.5 Calculer le rendement nominal  $\eta_N$  du moteur.

**B- Fonctionnement du moteur à fréquence réduite**

1. La caractéristique mécanique de la pompe peut-être modélisée par une droite entre 500 et 1000 tr.min<sup>-1</sup>. Son équation est :

$$T_r = 0,48 \times n - 100$$

avec n en tr.min<sup>-1</sup> et T<sub>r</sub> en Nm.

Tracer cette caractéristique sur le **document réponse 3**.

2. Pour un débit de pâte réglé à 145 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> la vitesse de rotation du moteur est n<sub>2</sub> = 720 tr.min<sup>-1</sup>.
- 2.1. Placer le point de fonctionnement M<sub>2</sub> sur le **document réponse 3** et indiquer ses coordonnées.
- 2.2. Calculer la puissance mécanique P<sub>u2</sub> utile alors fournie par le moteur.
3. On mesure la puissance absorbée par le moteur avec un wattmètre numérique monophasé placé sur l'une des phases (voir **document réponse 2**).
- 3.1. Compléter le schéma avec les appareils nécessaires pour mesurer les valeurs efficaces de l'intensité en ligne et de la tension simple.  
Les indications des appareils de mesure sont P<sub>1</sub> = 7,0 kW ; I<sub>1</sub> = 48,3 A ; V<sub>1</sub> = 176 V.
- 3.2. Calculer la puissance absorbée par le moteur P<sub>a</sub>.
4. Caractéristiques de la tension délivrée par l'onduleur fonctionnant à  $\frac{U}{f} = \text{constante}$ .
- 4.1. Tracer, sur le **document réponse 3**, la nouvelle caractéristique mécanique du moteur.
- 4.2. A partir de cette caractéristique, déterminer la nouvelle fréquence de rotation du moteur à vide : n<sub>s2</sub>. En déduire la fréquence f<sub>2</sub> de la tension fournie par l'onduleur.
- 4.3. Calculer la valeur efficace U<sub>2</sub> de cette tension et vérifier qu'elle est en accord avec l'indication du voltmètre.

## 2 - THERMODYNAMIQUE (6 points)

A la base du premier étage d'un évaporateur (**document 5 page 10**), la liqueur noire est préchauffée dans un échangeur tubulaire par de la vapeur.

**Donnée :** capacité thermique massique de la liqueur noire  $c = 4 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

1. La liqueur noire entre dans l'échangeur à la température  $\theta_1 = 98 \text{ }^\circ\text{C}$  et en ressort à la température  $\theta_2 = 104 \text{ }^\circ\text{C}$ , sans subir de changement d'état. Son débit massique est  $q_{m1} = 49 \text{ t.h}^{-1}$  (tonne par heure).
  - 1.1. La pression à laquelle se trouve la liqueur est-elle plus faible ou plus forte que la pression atmosphérique normale (1,013 bar) ? Justifier votre réponse.
  - 1.2. Calculer le débit massique de la liqueur noire en  $\text{kg.s}^{-1}$ .
  - 1.3. Calculer la puissance thermique reçue  $P_{th1}$  par la liqueur noire dans cet échangeur.
  
2. Les caractéristiques physiques de la vapeur utilisée pour cette préchauffe sont :  
pression  $p_{1v} = 2 \text{ bar}$  et température  $\theta'_{1v} = 140 \text{ }^\circ\text{C}$ .
  - 2.1. Placer le point représentatif de cette vapeur, point A, sur le diagramme de Mollier (**document réponse 4**).
  - 2.2. Déterminer la nature de cette vapeur et son enthalpie massique  $h_{1v}$ .
  - 2.3. A la sortie de l'échangeur, la vapeur sort à l'état de vapeur humide de titre massique  $x = 0,75$  à la pression  $p_{2v} = 2 \text{ bar}$ . Placer le point représentatif, point B, de cette vapeur sur le diagramme de Mollier (**document réponse 4**).
  - 2.4. Déterminer l'enthalpie massique  $h_{2v}$  de la vapeur en sortie d'échangeur et vérifier que la variation d'enthalpie massique  $\Delta h_{v12}$  de la vapeur dans l'échangeur est voisine de  $-600 \text{ kJ.kg}^{-1}$ .
  - 2.5. Calculer le débit massique  $q_{mv}$  de la vapeur en supposant qu'il n'y a aucune perte thermique dans l'échangeur.
  - 2.6. Montrer que la masse volumique  $\rho$  d'un gaz parfait de pression  $P$ , température  $T$  est donnée par l'expression  $\rho = pM/RT$ ,  $M$  étant la masse molaire et  $R$  la constante des gaz parfaits.
  - 2.7. En supposant que l'on puisse considérer la vapeur utilisée comme un gaz parfait, calculer sa masse volumique  $\rho_v$ . En déduire son débit volumique  $q_{vv}$  à l'entrée de l'échangeur. On rappelle que  $M = 18 \text{ g/mol}$  pour l'eau et  $R = 8,32 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .
  
3. Dans le corps de l'évaporateur, on évapore une partie de la liqueur préchauffée ( $104 \text{ }^\circ\text{C}$ ) par de la vapeur saturante ( $135 \text{ }^\circ\text{C}$  ; 3,13 bar). La vapeur, en se condensant, assure le réchauffement de toute la liqueur noire de  $\theta_2 = 104 \text{ }^\circ\text{C}$  à  $\theta_3 = 107 \text{ }^\circ\text{C}$  et la vaporisation d'une partie de l'eau de la liqueur à la température  $\theta_3$  (chaleur latente de vaporisation  $l_v = 2240 \text{ kJ.kg}^{-1}$ ).
  - 3.1. Placer le point représentatif de la vapeur utilisée, point C, sur le diagramme de Mollier (**document réponse 4**).
  - 3.2. Le débit de liqueur noire en sortie de cet étage d'évaporation est  $q_{m2} = 40 \text{ t.h}^{-1}$ . Calculer le débit massique d'eau évaporée  $q_{eau}$  dans cet étage.
  - 3.3. Calculer la puissance thermique reçue  $P_{th2}$  par la liqueur noire dans le corps de l'évaporateur.

## 3 - CHIMIE (7 points)

## A- Dosage d'oxydoréduction

Données utiles :

Potentiels redox standards suivants :

$$E^\circ (\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}) = 1,51 \text{ V}, \quad E^\circ (\text{I}_2 / \text{I}^-) = 0,62 \text{ V}, \quad E^\circ (\text{S}_4\text{O}_6^{2-} / \text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = 0,08 \text{ V}$$

Masses molaires atomiques suivantes en  $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$  :

$$\text{Mn} = 54,9; \quad \text{O} = 16; \quad \text{K} = 39,1; \quad \text{S} = 32,1; \quad \text{I} = 126,9; \quad \text{Na} = 23$$

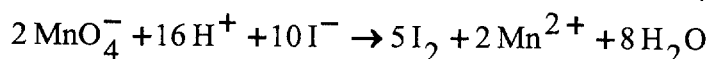
On s'intéresse à une installation de production de pâte dans laquelle, après la cuisson, on poursuit la délignification avec de l'oxygène, en deux étapes, avec un lavage intermédiaire. A chaque étape du processus, on mesure le degré de délignification en mesurant l'indice kappa.

**Définition :** L'indice kappa, noté X, est le nombre de mL de permanganate de potassium à  $0,020 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  consommé, dans les conditions de la norme, par 1 g de pâte sèche.

**Principe :** On fait réagir pendant dix minutes un volume  $V_1 = 100 \text{ mL}$  de solution permanganate de concentration molaire  $C_1 = 0,020 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  en milieu sulfurique avec une masse connue de pâte sèche. On appellera permanganate résiduel le permanganate non consommé par la pâte. On dose ce permanganate résiduel par iodométrie : des ions iodure ajoutés en excès sont transformés en diiode. Le diiode formé est ensuite dosé par une solution de thiosulfate de sodium  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  de concentration  $C_2 = 0,20 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

- Déterminer la masse de thiosulfate de sodium anhydre qu'il faut dissoudre pour préparer un volume  $V = 500 \text{ mL}$  d'une solution de concentration  $C_2 = 0,20 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .
- Réaction entre les ions permanganate  $\text{MnO}_4^-$  et les ions iodure  $\text{I}^-$ .

Soit l'équation de la réaction de réduction des ions permanganate résiduels  $\text{MnO}_4^-$  par les ions iodure  $\text{I}^-$  :



En déduire la relation liant le nombre de moles d'ions permanganate résiduels  $n_1$  et le nombre de moles de diiode  $\text{I}_2$  formé  $n_3$ .

- Réaction entre les ions thiosulfate  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  et le diiode  $\text{I}_2$ .
  - A l'aide des potentiels redox standards, montrer que le diiode peut oxyder les ions thiosulfate.
  - Écrire l'équation de la réaction d'oxydoréduction entre ces deux espèces chimiques.
  - Quel indicateur coloré ajoute-t-on en fin de dosage pour mieux repérer l'équivalence ?
  - Donner la relation liant le nombre de moles  $n_3$  de diiode formé et le nombre de moles  $n_2$  de thiosulfate utilisé pour le doser.
  - Donner la relation entre le nombre de moles de permanganate résiduel  $n_1$  et le nombre de moles de thiosulfate utilisé  $n_2$ .

4. L'essai réalisé avec une masse  $m = 4,11$  g de pâte sèche à la fin du traitement à l'oxygène, a nécessité un volume  $V_2 = 31,5$  mL de la solution de thiosulfate de sodium.
  - 4.1. Calculer la valeur numérique de  $n_1$ .
  - 4.2. Calculer le nombre de moles de permanganate consommé par la pâte dans cet essai :  $n_{\text{conso}}$  sachant qu'initialement on a fait réagir un volume  $V_1 = 100$  mL de permanganate de concentration molaire  $C_1 = 0,02$  mol.L<sup>-1</sup> sur la pâte sèche.
  - 4.3. En déduire le volume de permanganate, noté  $V_{\text{conso}}$ , de concentration  $C_1$  consommé par la pâte et la valeur de l'indice kappa  $X_2$ , en fin de traitement à l'oxygène.

### B- Dosage acido-basique : détermination de la concentration d'une solution d'ammoniac

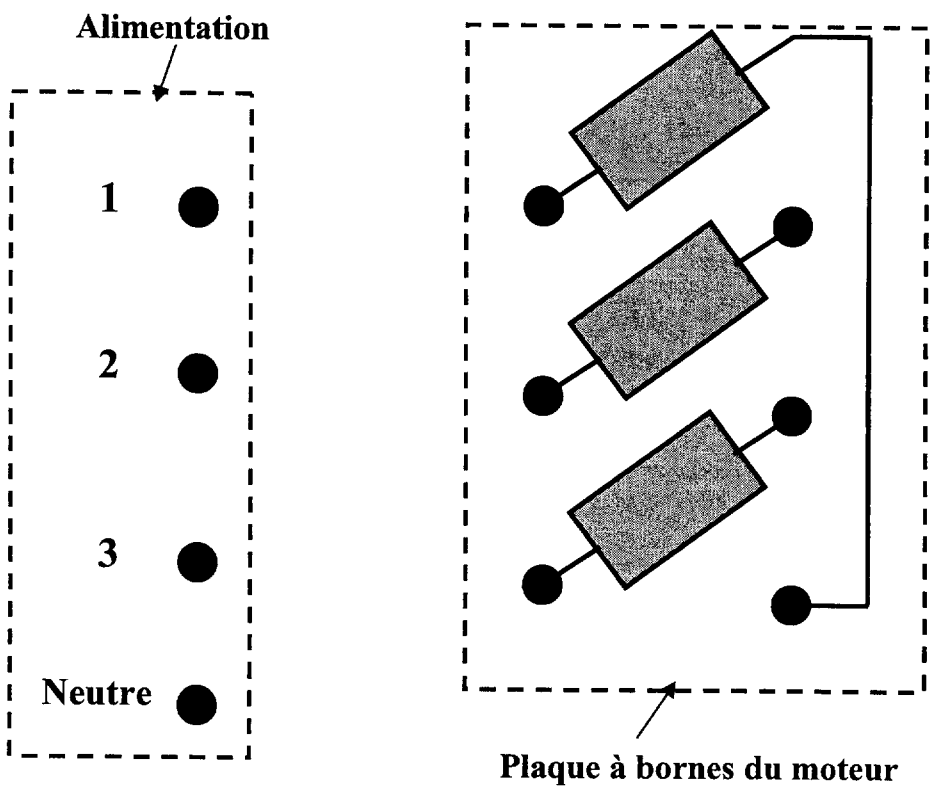
Donnée :  $pK_a$  du couple  $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$  ;  $pK_a = 9,2$ .

La mesure du pH d'une solution d'ammoniac  $\text{NH}_3$  a donné :  $\text{pH} = 10,9$ .

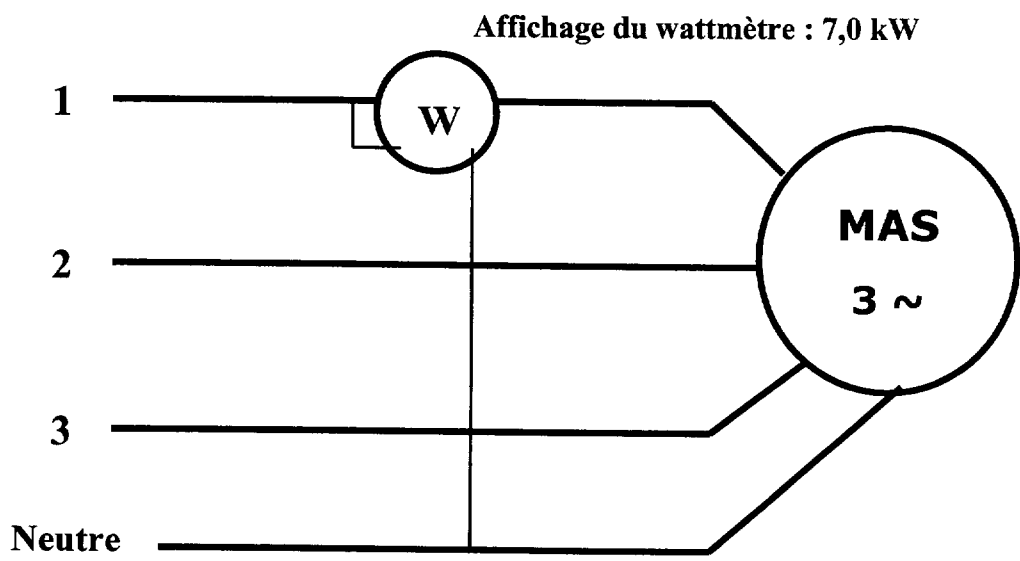
1. Écrire l'équation de la réaction de l'ammoniac sur l'eau.
2. Tracer les domaines de prédominance des espèces  $\text{NH}_3$  et  $\text{NH}_4^+$  en fonction du pH.  
Quelle espèce est majoritaire à  $\text{pH} = 10,9$  ?
3. Détermination de la concentration de la solution.
  - 3.1. À partir du pH, calculer les valeurs des concentrations des espèces  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{OH}^-$ .
  - 3.2. Écrire l'équation d'électro-neutralité de la solution. En déduire la valeur numérique de la concentration en  $\text{NH}_4^+$ .
  - 3.3. Écrire l'expression de la constante d'acidité  $K_a$  en fonction des concentrations. En déduire la valeur numérique de la concentration en  $\text{NH}_3$ .
  - 3.4. Donner l'équation de conservation de la matière azotée. En déduire la valeur numérique de la concentration molaire  $C_B$  de la solution d'ammoniac.
4. La mesure précise du pH en milieu basique étant délicate, on souhaite vérifier le résultat précédent par dosage. On dose 10 mL de cette solution par une solution d'acide chlorhydrique de concentration  $C_A = 0,05$  mol.L<sup>-1</sup>. L'équivalence repérée par un indicateur coloré bien adapté est obtenue pour un volume de 8,4 mL d'acide versé.
  - 4.1. Écrire l'équation de la réaction de dosage.
  - 4.2. Calculer la valeur numérique de la concentration  $C_B$  de la solution d'ammoniac.

**DOCUMENTS RÉPONSES – A rendre avec la copie.**

**Document réponse 1**



**Document réponse 2**





Caractéristiques mécaniques

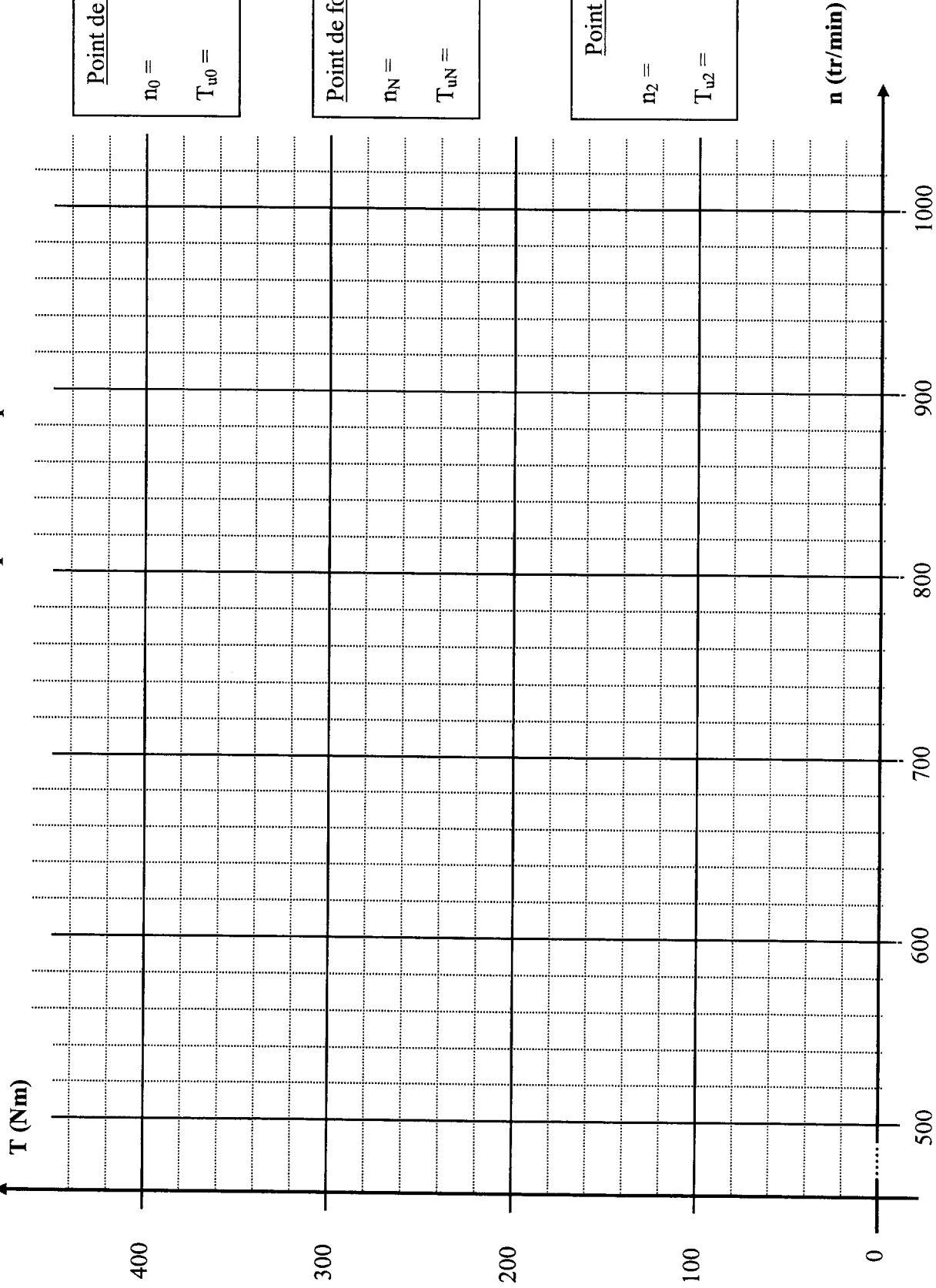
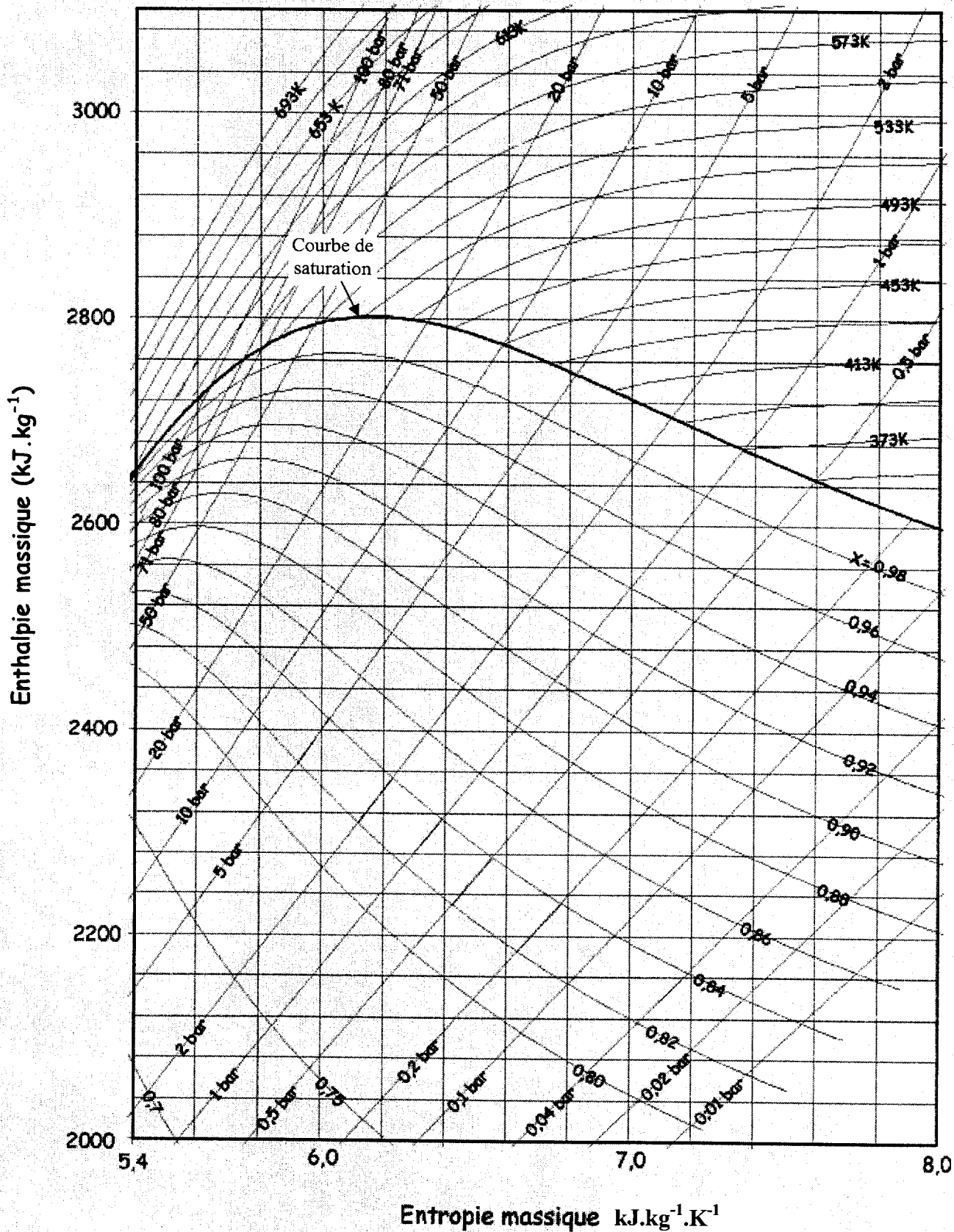


Diagramme de Mollier de l'eau



## Document 5

Schéma de l'évaporateur